

## 運動立体視の神経回路網モデルに基づいた脳型視覚情報処理システムに関する研究

著者	栗原 祥太
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	87
号	1
ページ	208-209
発行年	2018-08
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/00123506">http://hdl.handle.net/10097/00123506</a>

修士学位論文要約（平成30年3月）

# 運動立体視の神経回路網モデルに基づいた 脳型視覚情報処理システムに関する研究

栗原 祥太

指導教員：佐藤 茂雄, 研究指導教員：秋間 学尚

## Brain-Inspired Visual Information Processing System based on Neural Network Model for Motion Stereo Vision

Shota KURIHARA

Supervisor: Shigeo SATO, Research Advisor: Hisanao AKIMA

Spatial perception, in which the motions and positions of objects are recognized, has been demanded for applications such as autonomous cars and autonomous mobile robots. Motion stereo vision is one of the method of obtaining depth cue which is necessary for spatial perception. We focus on a neural network model which performs spatial perception based on motion stereo vision and aims at hardware implementation of this model. In order to evaluate the performance in real world for this model, we designed two types of VLSI chip. The first VLSI chip has the function of detecting velocity vectors (local motions), and the second one has the function of integrating local motions into optical flow. We constructed a system which can detect local motion from live video stream with the local motion detection VLSI chip. In order to verify the operation, we measured the response of this system when a camera approaches a plane on which random-dot pattern is drawn. As a result, we confirmed that the system can detect the inclination of the approaching plane.

### 1. はじめに

視覚系において物体の位置や動きを把握する空間認識は非常に重要な機能の1つであり、自動運転車や自動ロボットを実現する上で空間認識は不可欠である。自動車やロボットに実装する空間認識システムには、実時間における処理を小型かつ低消費電力で実行することが求められるため、効率的な情報処理を行っている生体の視覚系に倣った空間認識システムを開発する試みが行われている<sup>1,2)</sup>。空間認識には、奥行き手がかりを得る手段として、両眼立体視と単眼立体視があるが、鳥類や昆虫は単眼から得られる情報に基づいて障害物回避などの視覚運動制御を行っている。そこで本研究では、単眼から得られる運動視差（自分もしくは対象物体が移動することによって生じる視差情報）に基づいて空間認識を行う運動立体視に着目した。運動立体視に基づいた空間認識機能を工学的に応用することで、衝突回避などを行う視覚運動制御の実現を目指している。運動立体視に基づいた空間認識の先行研究として、ハエやバッタの視覚系に倣った運動検知モデルを集積化した例がある<sup>1,2)</sup>。これらのモデルでは、エッジの特定方向の動きや物体の接近の有無を効率的に計算しているのが特徴である。一方で、平面方位・衝突時間までを認識する運動立体視モ

デルの研究例は少ない。そこで、川上らによって提案された、運動立体視に基づき平面方位・衝突時間を認識する神経回路網モデル<sup>3,4)</sup>（川上モデル）に着目し、川上モデルをハードウェア実装することで、自動車やロボットなどに衝突回避システムとして実装することを考えた。本研究では、川上モデルの工学的な応用可能性を検証することを目的として、川上モデルを組み込んだ空間認識システムの構築とその動作検証を行った。

### 2. 運動立体視に基づいた空間を認識する神経回路網モデルのLSI化

川上モデルでは、局所運動を検出するステップと、局所運動を統合することでオプティカルフローを認識し、平面方位・衝突時間を認識するステップの2つのステップにより空間認識が可能となる。最初のステップでは、網膜細胞の受容野（神経細胞が応答を示す網膜上の領域）に映った刺激パターンの速度ベクトル（局所運動）を検出する。速度ベクトルの検出手順は以下の通りである。まず、時間遅れあり・なしの2枚の画像から、それぞれ受容野に対応する領域を切り出す。次に、それぞれの受容野の応答（画像データ）に対してHough変換を実行することで、直線の位置と方位の抽出を行う。続いて、得られた直線の情報に対して、時間的・空間的に相関を取ることで直線の

法線方向の速度を検出する。最後に、逆 Hough 変換を実行することで受容野中の速度ベクトルが検出される。次のステップでは、複数の受容野で検出された速度ベクトルを統合してオプティカルフローを認識する。オプティカルフローを構成しているベクトルの湧き出し点から移動方向を、オプティカルフローの形から平面方位と奥行き(平面までの到達時間と最短距離)を認識する<sup>5)</sup>。

本研究では、空間認識システムの実現に向けて、受容野ごとに局所運動を検出する LSI (局所運動検出 LSI) と、局所運動を統合して平面方位・衝突時間を認識する LSI (局所運動統合 LSI) を設計した。2種類の LSI は、TSMC 65nm CMOS テクノロジーによって作製され、両チップの面積は  $2 \times 2 \text{ mm}^2$ 、最大動作周波数は 100 MHz である。また、ポストレイアウトシミュレーションによって推定された消費電力は、局所運動検出 LSI が 50~100 mW、局所運動統合 LSI が 40 mW 以下である。

### 3. 空間認識システムの動作検証

設計した2種類の LSI をマルチチップ構成にすることで、リアルタイムに平面方位・衝突時間を認識するシステムが実現可能である。本研究では、その第一歩として、局所運動検出 LSI を用いたシステムを構築した。構築したシステムはカメラ、FPGA ボード、及び局所運動検出 LSI から構成される。システムの処理の流れを以下に示す。まず、カメラで取得された 30 fps のビデオストリームは、FPGA ボードを介して局所運動検出 LSI に取り込まれる。入力画像は、網膜細胞の受容野に対応する領域(局所領域)で切り出され、8つの受容野内の輝度値が LSI 内の8つの処理要素にそれぞれ送られる。LSI は、8つの受容野中の局所運動を並列に算出し、計算結果を UDP 通信によって PC に送信する。8つの局所運動は、運動検出細胞の強度分布としてディスプレイ上に視覚化される。

上記のシステムを自動車に応用することを想定し、図1のような評価システムを構築した。このシステムを用いて、ランダムドットパターンが描かれた平面に対してカメラを一直線に近づけた際の局所運動検出結果を調べた。カメラを接近させた際に取得された

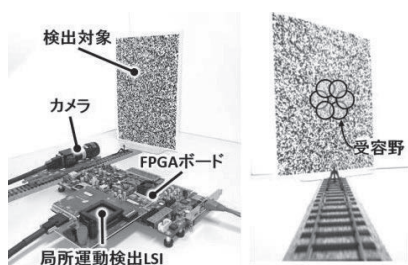


図1 局所運動検出 LSI の評価システム。

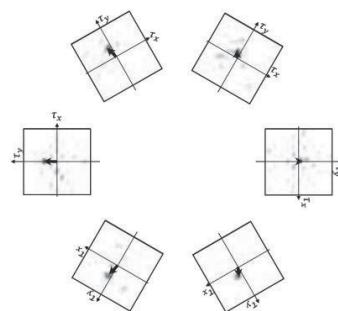


図2 円周上に並んだ6つの受容野に対応する運動検出細胞の応答。

画像を図1の右側に示す。丸で囲んだ領域が受容野に相当し、6つの円周上に並んだ受容野に対して局所運動検出を行った結果を図2に示す。図2は、細胞の応答強度を可視化したものであり、最も強い応答を示す細胞と原点を結んだ線が速度ベクトルに対応する。図2の結果より、円周上に並んだ受容野が、平面の接近を表す放射状に広がるオプティカルフローを検出していることがわかった。また、左側にある受容野ほど大きな速度ベクトルを検出しているため、平面の傾きを表すオプティカルフローを検出できていることも確認できた。

### 4. まとめ

リアルタイム空間認識システムの実現に向けて、運動立体視に基づき、受容野ごとの局所運動を検出する LSI と、局所運動を統合することでオプティカルフローを構成し、平面方位・衝突時間を認識する LSI を設計した。また、局所運動検出 LSI、FPGA、及びカメラから構成されるシステムを構築し、カメラのライブ動画像から局所運動をフレームレート 30 fps で検出できることを確認した。さらに、ランダムドットパターンが描かれた平面に対してカメラを接近させた場合のシステムの応答を測定し、平面の接近と傾きを表す放射状のオプティカルフローを検出できることを確認した。

### 文献

- 1) S.C. Liu, and A. Usseglio-Viretta, Biol. Cybern., vol. 85, no. 6, pp. 449-457, 2001.
- 2) H. Okuno, and T. Yagi, Robot. Auton. Sys., vol. 57, no. 5, pp. 508-516, 2009.
- 3) S. Kawakami, and H. Okamoto, Vision Res., vol. 36, no. 1, pp. 117-147, 1996.
- 4) S. Kawakami, M. Matsuoka, H. Okamoto, and S. Hosogi, Syst. Comput. Jpn., vol. 34, no. 4, pp. 46-59, 2003.
- 5) J.J. Gibson, Houghton Mifflin, Boston, 1996.